

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7423

УДК 630*232

Статья

Совершенствование конструкций орудий для обработки почвы под посадку лесных культур в пласт

Дручинин Денис Юрьевич

кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), druchinin.denis@rambler.ru

Шавков Михаил Викторович

кандидат технических наук, ООО «Русгидроком» (Российская Федерация), shavkovmv@mail.ru

Фатхулин Вадим Русланович

магистрант, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), injener25776@mail.ru

Болгов Андрей Вячеславович

студент, Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова (Российская Федерация), bolgovtacher@gmail.com

Получена: 15 октября 2023 / Принята: 18 января 2024 / Опубликовано: 11 февраля 2024

Аннотация: Лесное хозяйство всего мира, перед которым в настоящее время всё острее встают глобальные экологические вызовы, одной из важнейших для себя задач ставит разработку современной модели использования и воспроизводства лесов. Актуализация климатической повестки в мире требует повышения экологического потенциала природных насаждений за счёт увеличения площади лесных ландшафтов. Лесовосстановление — это сложный многооперационный процесс, одним из основных этапов которого является сплошная или частичная подготовка почвы под создаваемые лесные культуры. Данная операция должна быть строго зональной, обусловленной конкретными природно-производственными условиями. От качества её выполнения во многом зависит успешность приживаемости высаженных растений и дальнейшего развития насаждений. Обеспечение высоких требований к агротехнической подготовке почвы невозможно без использования современных технических средств. Авторами представлены плуги с лемешными и дисковыми рабочими

органами, используемые в настоящее время для подготовки почвы в лесном хозяйстве, наиболее часто применяемым среди которых является плуг ПКЛ-70. В процессе работы орудие образует одно- или двухотвальную борозду, при высадке посадочного материала в дно которой на площадях с высокой степенью увлажнения почвы происходит скапливание атмосферной и почвенной влаги и, как следствие, вымокание растений. Поэтому в таких условиях посадку лесных культур необходимо проводить в специально создаваемые микроповышения, и, в частности, в отваленные пласты. Специалисты лесного хозяйства отмечают, что созданные по такой технологии культуры лучше приживаются и активнее растут. Рассмотрены особенности конструкций современных лесных плугов для обработки переувлажнённых почв с высокой пластичностью или сильно задернелых почв. Разработаны дополнительные узлы для дооснащения лесных плугов по блочно-модульному принципу, использование которых позволяет повысить качество и эффективность подготовки пластов в виде обогащённых дренированных микроповышений для посадки лесных культур. Блочно-модульный принцип позволит снизить номенклатуру используемых машин и механизмов в организациях-лесопользователях.

Ключевые слова: лесовосстановление; переувлажнённые почвы; посадка в пласт; лесной плуг; прикатывающий каток-формообразователь

DOI: 10.15393/j2.art.2024.7423

Article

Design improvement of soil-tilling tools for forest side planting

Denis Druchinin

PhD in engineering, associate professor, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), druchinin.denis@rambler.ru

Mikhail Shavkov

PhD in engineering, LLC «Rushydrocom» (Russian Federation), shavkovmv@mail.ru

Vadim Fatkhulin

Master's student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), injener25776@mail.ru

Andrey Bolgov

Student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G. F. Morozov (Russian Federation), bolgovtacher@gmail.com

Received: 15 October 2023 / Accepted: 18 January 2024 / Published: 11 February 2024

Abstract: World forestry facing global environmental challenges aims at developing

a modern model for utilization and regeneration of forests. Climatic change challenges require ecological potential rise of natural plantings by increasing the forest landscape area. Reforestation is a complex multi-operational process, one of the main stages of which is the broadcast or partial soil cultivation for a new forest plantation. This operation must be strictly a zonal one due to specific natural and industrial conditions. High survival rate of forest plantation and its further development largely depend on the quality of performed work. Modern technical means should be used to ensure high quality of soil cultivation. The authors present bottom and disc plows currently used for soil cultivation in forestry, PKL-70 plow being the most commonly used one. During operation the plow forms a single- or double moldboard furrow. If the seedlings are planted in the furrow bottom of water-logged soil, atmospheric and soil moisture accumulates and as a result plants damp off. Therefore in such conditions forest transplantation should be performed in specially created microhills, in particular in moldboards. Forestry experts note that in this case seedlings take root better and grow more actively. The authors consider modern forest plows designs used for cultivation of waterlogged soils with high plasticity are turfiness. They have developed additional

units for refitting forest plows according to the modular-assembly principle. Their usage allows the quality and efficiency of soil preparation improvement by formation of flushed drained microhills for a new forest plantation. The modular-assembly principle may help reduce the range of machines and mechanisms used by forest owners.

Keywords: reforestation; water-logged soils; forest side planting; forest plow; covering roller-shifter

1. Введение

Перед мировым сообществом всё актуальнее встаёт вопрос рациональности использования лесных ресурсов и остановки процессов их деградации, т. к. леса, помимо наличия в них значительного разнообразия природных ресурсов, выполняют средообразующую функцию в биосфере Земли [1], [2]. Интенсивное развитие промышленности, активная лесозаготовка и постоянно возрастающий объём лесных площадей, уничтоженных в результате природных стихийных бедствий, привели к тому, что в настоящее время в лесном хозяйстве всего мира большое значение уделяется процессам лесовосстановления и лесоразведения. Задача увеличения площади лесных ландшафтов имеет первостепенное значение и по причине актуализации климатической повестки в мире, позволяя укрепить экологическую целостность лесонасаждений, тем самым повысив экологический потенциал лесов в виде возможности депонирования ими углерода из атмосферы нашей планеты [3].

Тактика ведения лесовосстановительных работ в разных странах мира определяется природно-климатическими условиями, объёмом лесного фонда и экономическими возможностями. Однако общей тенденцией лесохозяйственного производства является предъявление высоких требований к агротехнике обработки почвы как важному фактору обеспечения создания качественных лесных культур и последующему агротехническому уходу, что способствует ускоренному росту насаждений [4].

2. Материалы и методы

При создании лесных культур осуществляется механическое воздействие на поверхность восстанавливаемой площади различными машинами и орудиями в виде сплошной или частичной обработки почвы. Выполняемый вид почвообработки должен соотноситься с зональным расположением участка лесовосстановления, обусловленным конкретными условиями — типами условий местопроизрастания, состоянием и происхождением лесокультурных площадей, биоэкологическими свойствами выращиваемых древесных пород [5], [6], [7], [8].

Для осуществления обработки лесных почв используются широко распространённые плуги с лемешными рабочими органами, такие как ПКЛ-70, ПЛП-135, ПЛ-1, а также дисковый плуг ПЛД-1,2 и некоторые другие [9].

Лесные лемешные плуги подрезают пласт снизу и в вертикальной плоскости, а затем поднимают, переворачивают и укладывают его рядом с бороздой в опрокинутом виде, т. е. дерниной на дернину. Заделка произрастающей растительности происходит путём перевёртывания её вверх корнями и придавливания её почвенной массой [9].

В зависимости от почвенных условий (и в особенности от влажности почвы) выделяют следующие основные способы посадки лесных культур (рисунок 1): *а* — в дно двухотвальной борозды; *б* — в отваленный пласт с одной стороны от борозды;

в — в микроповышение; *г* — в отваленный пласт с двух сторон от борозды. Следует отметить, что, по сообщениям лесоводов, большая часть созданных насаждений погибает до момента окончания лесоводственных уходов и смыкания насаждений по целому ряду причин [10], [11].

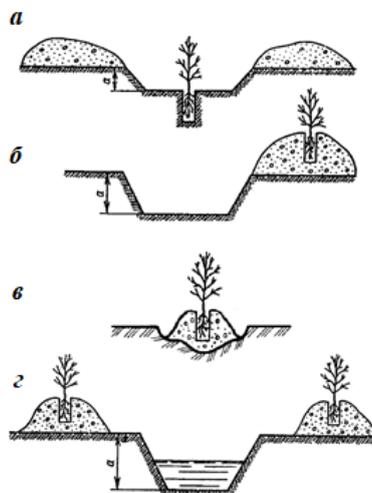


Рисунок 1. Способы создания лесных культур [https://konspekta.net/poisk-ruru/baza1/1954122873541.files/image007.png]

Figure 1. Ways to create forest plantations

При работе по схеме обработки почвы (*а*), которая из-за простоты и дешевизны применяется практически повсеместно, на восстанавливаемых участках создаются плужные двухотвальные борозды (фото 1). При этом образуются два неравноценных лесокультурных места: обеднённое микропонижение — дно борозды и обогащённое дренированное микроповышение — пласт в виде сдвоенной дернины и гумусового горизонта. Однако специалисты лесного хозяйства отмечают, что применение технологии посадки сеянцев в дно плужных борозд эффективно для дренированных почв, однако для многих условий работы данный способ посадки совершенно неподходящий. Посадка сеянцев в дно борозды оправданна, например, для лесостепной и степной лесорастительных зон, которые характеризуются увеличением содержания влаги с глубиной. Борозда в этом случае защищает созданные культуры как от иссушения, играя роль естественного «сборщика» осадков, так и от перегрева [12].

На влажных, сырых и избыточно увлажнённых почвах во всех лесокультурных зонах высадку сеянцев и саженцев, наоборот, необходимо проводить в искусственно созданные микроповышения. Посадка и посев леса здесь могут проводиться в перевёрнутые пласты, однако не сразу, а после их слёживания для устранения пустот и разложения растительных остатков. Кроме того, пласты напахивают на богатых гумусом почвах, быстро зарастающих травянистой и древесно-кустарниковой растительностью.



Фото 1. Пример создания двухотвальной борозды на вырубке при проведении лесовосстановительных работ [фото авторов]

Photo 1. An example of creating a double-mould furrow in a clearing during reforestation operation

На микроповышениях такого типа культуры лучше приживаются и активнее растут. Однако быстрое разрастание нежелательной травянистой растительности на лесокультурной площади вызывает необходимость большего числа агролесоводственных уходов. Поэтому для снижения активности развития сорных растений лесоводами рекомендуется выворачивание вместе с пластом части слабоплодородного подзолистого горизонта с низким содержанием гумуса.

На богатых суглинистых свежих почвах глубина вспашки (толщина перевёрнутого пласта) должна составлять 12—15 см. На суглинистых почвах на вырубках толщина перевёрнутого пласта не должна превышать 15—18 см. При этом вспашку проводят широко распространёнными плугами ПКЛ-70, ПЛП-135 и др. Однако проводимая работа на переувлажнённых почвах, имеющих высокую пластичность, с использованием данных орудий часто приводит к неудовлетворительным результатам.

Пластичность, как физико-механическое свойство почвы, характеризует её способность изменять свою форму под влиянием внешних сил без нарушения сплошности (без разрывов и трещин) и сохранять приданную форму после их устранения [13].

При обработке таких почв подрезаемый пласт после схода с отвала укладывается в виде сплошной ленты на край борозды, что затрудняет дальнейшие возможные работы по посадке растений. Поэтому отраслью лесного машиностроения для повышения эффективности проведения обработки переувлажнённых почв с высокой пластичностью или сильно задернелых почв разработаны орудия с комбинированными рабочими органами.

Рядом заводов-изготовителей выпускается плуг-рыхлитель навесной ПРН-40Д. Данное орудие, предназначенное для комплексной обработки задернелых почв под посадку лесных культур, помимо основных узлов конструкции в виде рамы, навесного устройства, дискового ножа и двухотвального плужного корпуса, содержит две дисковые батареи с балластными

ящиками. Батареи размещены по бокам от отвалов и предназначены для дополнительного разбивания почвенных пластов, укладываемых после нарезки борозды на её края.

В Польше предприятием Ośrodek Techniki Leśnej для агрегатирования с тракторами малой мощности разработан двухотвальный плуг для обработки лесных почв LPŻ-30. Особенность его конструкции заключается в том, что позади отвальных поверхностей плужного корпуса установлены прикатывающие цилиндрические катки для дополнительного прижатия пласта к краю борозды и недопущения его возврата в борозду [14].

В развитие предложенного технического решения был разработан лесной плуг LPŻ-75, предназначенный для обработки почвы при лесовосстановлении и лесоразведении в особо сложных условиях, в т. ч. на площадях с преобладанием травянистой растительности или покрытых нежелательной древесной порослью высотой до 1 м [14].

Позади отвальных поверхностей здесь расположены прикатывающие катки с дополнительно размещёнными на них тремя дисковыми ножами, которые обеспечивают прижатие обёрнутых пластов с их одновременным разделением на более мелкие фракции.

В этой же серии лесных орудий выпускается двухотвальный плуг LPŻ PRO 2, выполняющий нарезку борозд глубиной до 15 см под посадку лесных культур на непокрытых лесом супесчаных почвах различной степени задернения и объёма древесно-кустарниковой растительности. Может применяться на раскорчёванных вырубках, очищенных от порубочных остатков [14].

Имеющиеся в конструкции плуга режущие прижимные ролики разделяют обёрнутый пласт на более мелкие фракции и удерживают их таким образом, чтобы они не возвращались обратно в борозду.

3. Результаты

На основе оценки недостатков технологической схемы обработки пластичных почв с созданием микроповышений по краям борозды в виде уложенных пластов и конструктивных особенностей имеющихся плугов-аналогов в ВГЛТУ с использованием методов 3D-моделирования разрабатывается конструкция лесного плуга для обработки влажных, сырых и избыточно увлажнённых почв с высокой степенью пластичности. Сферой применения проектируемого плуга для образования микроповышений по краям борозды являются раскорчёванные полосами вырубки.

Среди основных элементов орудия особое внимание следует уделить наличию в его конструкции эффективного узла для разделения сходящих с отвалов пластов почвы на более мелкие фрагменты с одновременным их прижатием к краю борозды для устранения воздушных пустот и недопущения возврата пласта в борозду.

Анализ конструкций серийно выпускаемых лесных плугов показал, что в качестве таких дополнительных элементов могут выступать дисковые батареи (рисунок 3, а). Однако недостатком использования сферических дисков батарейного размещения является то, что помимо размельчения ими почвенного объёма пласта происходит его смещение

от края борозды. Помимо этого, при движении дисковых батарей, установленных под определённым углом атаки, по уложенным на край борозды пластиам затруднительно добиться согласованного заглабления данных элементов конструкции плуга, что приводит к боковому смещению орудия [15].

Исследованиями, проведёнными в лабораторном почвенном канале кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТУ, установлено, что помимо тягового сопротивления с увеличением угла атаки сферических дисков сила бокового увода батареи также возрастает (рисунок 2).

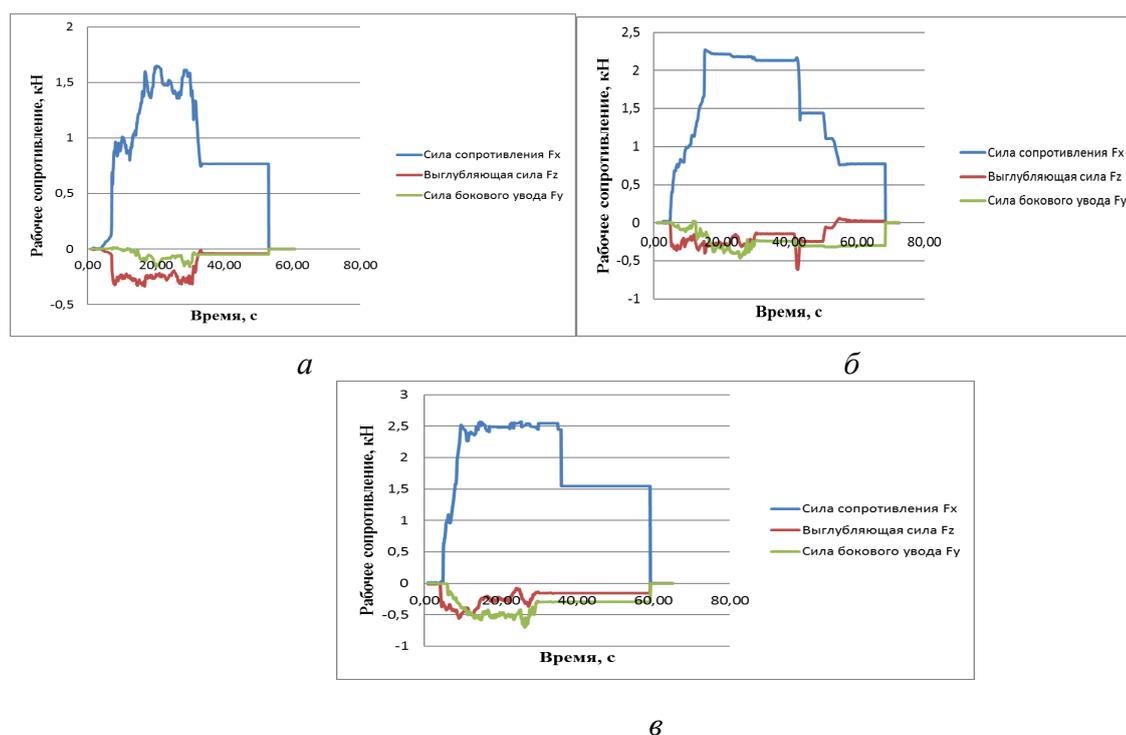


Рисунок 2. Результаты замера силовых показателей работы дисковой батареи по трём осям OX , OY и OZ : *a* — при угле атаки 10° , *б* — при угле атаки 20° , *в* — при угле атаки 30° [результаты исследований авторов]

Figure 2. The results of measuring the power indicators of the disk battery on three axes OX , OY and OZ : (**a**) at an angle of attack of 10° , (**b**) at an angle of attack of 20° , (**c**) at an angle of attack of 30°

Замеры силовых показателей работы дисковой батареи при значении угла её атаки 10° , 20° и 30° выполнялись с использованием специальной тензометрической навески, позволяющей оценить возникающие усилия по трём осям. Время перемещения дисковой батареи в почве специальной тяговой тележкой составляло 25—27 с. Постоянное значение тягового сопротивления после тридцатой секунды объясняется натяжением тензодатчиков в статическом положении.

Другим дополнительным узлом конструкции плугов для обработки лесных почв часто выступают гладкие цилиндрические катки (рисунок 3, б), но при их использовании пласт лишь прижимается к необработанной поверхности без измельчения. Улучшение рабочих характеристик катков также может быть осуществлено за счёт размещения на них дисковых ножей (рисунок 3, в), в т. ч. и с криволинейной режущей кромкой (рисунок 3, г). Однако наибольшую перспективу представляет компоновка узла, в котором на одной оси размещены как дисковые ножи (цельнокрайние или с криволинейной режущей кромкой), так и катки-уплотнители конической формы, установленные по краям (рисунок 3, д, е).

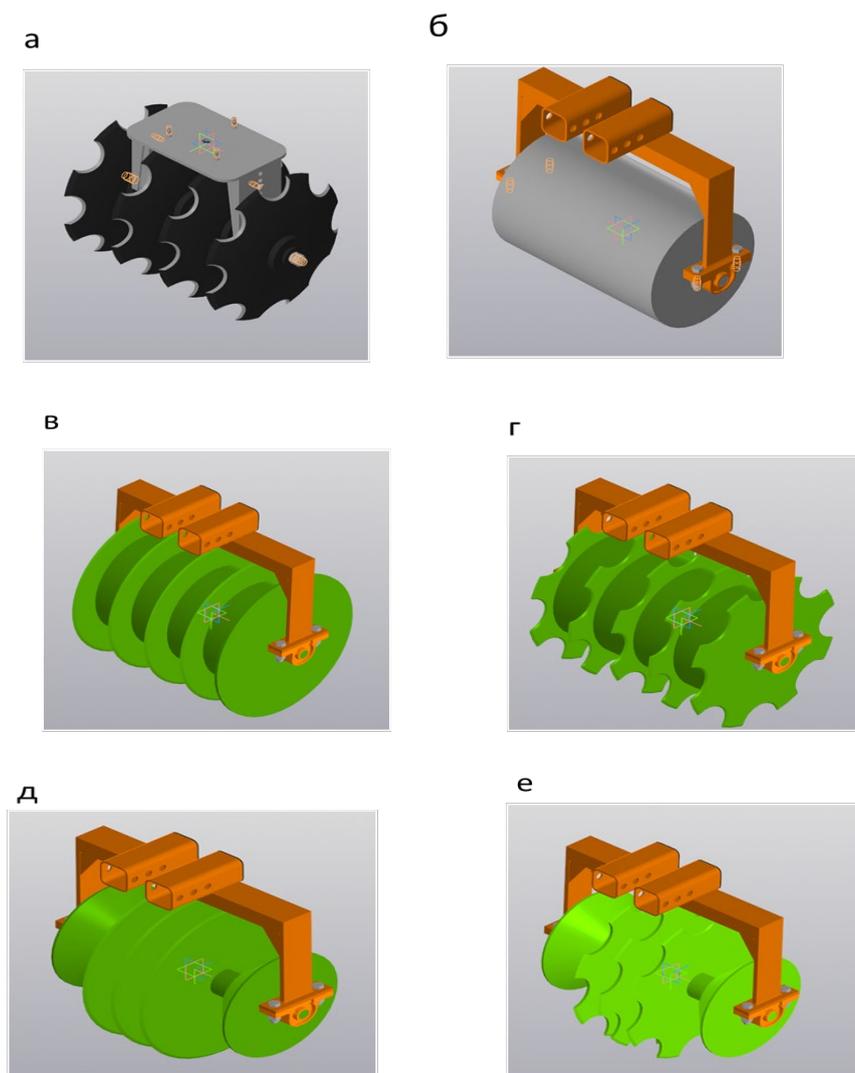


Рисунок 3. Дополнительные узлы лесных плугов для воздействия на почвенный пласт, уложенный на край борозды [разработки авторов]

Figure 3. Additional nodes of forest plows for influencing the soil layer laid on the edge of the furrow

4. Обсуждение и заключение

Специалисты лесного хозяйства отмечают, что невысокая доля искусственно созданных лесов в общем объёме лесного фонда складывается вследствие низкого технического уровня лесовосстановительных работ и, в частности, неудовлетворительного качества проведения почвообработки [1]. Поэтому обеспечение требований, предъявляемых к процессу обработки лесных почв, характеризующихся разнообразной типологией, невозможно без использования современных технических средств. Немаловажен и тот факт, что ресурсный потенциал предприятий и организаций-лесоиспользователей не всегда отвечает требованиям к их эффективной работе, поэтому, помимо прочих, основной характеристикой лесохозяйственных машин должна являться их универсальность. Большая номенклатура требующейся в лесном хозяйстве техники и разнообразие её типоразмеров вкупе с ограниченными финансовыми возможностями предприятий лесного хозяйства требует перехода к блочно-модульному принципу создания лесохозяйственных машин [16].

С учётом данного обстоятельства наличие в конструкции разрабатываемого лесного плуга для возможности работы, в т. ч. и на площадях с высокой степенью увлажнения почвы, съёмных катков позволяет качественно измельчать пласт, не допуская смещения объёмов почвы от края борозды. Конические катки-уплотнители позволяют устранить возникающие пустоты после фрагментирования обёрнутого пласта и ускорить разложение растительных остатков, а значит, сократить срок от выполнения обработки почвы до начала посадки лесных культур.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22-79-10010, <https://rscf.ru/project/22-79-10010/>.

Список литературы

1. Основные технические направления совершенствования лесовосстановления и лесообразования / Н. А. Луганский, В. А. Азаренок, С. В. Залесов [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2008. № 2 (30). С. 1—18.
2. Попов Н. Л. Лесовосстановление в России: текущее состояние и пути развития // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2021. № 5 (131). С. 198—202.
3. A large and persistent carbon sink in the world's forests / Y. Pan, R. Birdsey, J. Fang [et. al.] // Science. 2011. No. 333. P. 988—993. DOI: 10.1126/science.1201609.
4. Пошарников Ф. В. Технология и машины лесовосстановительных работ: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 250301 — Лесоинженерное дело. Воронеж: ВГЛТА, 2006. 523 с.
5. Зима И. М., Малюгин Т. Т. Механизация лесохозяйственных работ. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 416 с.
6. Mechanical site preparation for forest restoration / M. Löf, D. Dey, R. Cerrillo [et. al.] // New For. 2012. Vol. 43, no. 5—6. P. 825—848.

7. Alcázar J., Woodard R. P. L. M. Soil Disturbance and the Potential for Erosion After Mechanical Site Preparation // *Northern Journal of Applied Forestry*. 2002. No. 19. P. 5—13. DOI: 10.1093/njaf/19.1.5.
8. Способы подготовки почвы для создания лесных культур / Д. Ю. Дручинин, М. А. Гнусов, Е. В. Поздняков [и др.] // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Седьмой Всерос. национал. научно-практич. конф. с междунар. участием, Петрозаводск, 25 мая 2021 года. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2021. С. 58—59.
9. Технология и механизация лесохозяйственных работ: Учебник / И. В. Казаков, Н. Е. Проказин, С. А. Родин [и др.]. М.: Юрайт, 2021. 348 с.
10. Горбунов И. В., Зима Ю. В. Причины гибели лесов байкальского региона (Забайкальский край) // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 1. С. 139—143.
11. Сунгурова Н. Р., Сунгуров Р. В., Гаевский Н. П. Анализ эффективности искусственного лесовосстановления и предложения по его улучшению // *Учёные записки Петрозаводского государственного университета*. 2014. № 8-1 (145). С. 71—76.
12. Ярошенко А. Правильно ли сажают и выращивают лес после рубки // *Леспроминформ*. 2022. № 1 (163). С. 74—79.
13. Мамонтов В. Г. *Общее почвоведение: Учебник*. М.: КноРус, 2017. 538 с.
14. Ośrodek Techniki Leśnej. URL: otljarocin.lasy.gov.pl. (accessed: 29.09.2023). Text. Image: electronic.
15. Лысыч М. Н. Исследование процесса обработки почвы дисковым культиватором с использованием метода дискретных элементов // *Современные наукоёмкие технологии*. 2020. № 3. С. 59—64.
16. Казаков В. И., Прохоров Л. Н. О концепции развития механизации лесного хозяйства и лесохозяйственного машиностроения // *Вестник Центрально-Чернозёмного регионального отделения наук о лесе РАЕН Воронежской государственной лесотехнической академии*. 2002. С. 244—246.

References

1. Lougansky N. A., Azarenok V. A., Zalesov S. V., Zalesov A. S., Isaeva R. P., Terexov G. G., Freiberg I. A. The main technical trends to improve reforestation and forest formation. *Forests of Russia and the economy in them*, 2008, no. 2 (30), pp. 1—18. (In Russ.)
2. Popov N. L. Reforestation in Russia: current situation and development. *Proceedings of the Saint Petersburg state university of economics*, 2021, no. 5 (131), pp. 198—202. (In Russ.)
3. Pan Y., Birdsey R., Fang J., Houghton R. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 2011, no. 333, pp. 988—993. doi: 10.1126/science.1201609.
4. Posharnikov F. V. *Technology and machines of reforestation works*. Voronezh, VGLTA, 2006. 523 p. (In Russ.)
5. Zima I. M., Malyugin T. T. *Mechanization of forestry works*. Moscow, Forest Industry, 1976. 416 p. (In Russ.)
6. Löf M., Dey D., Cerrillo R., Jacobs D. Mechanical site preparation for forest restoration. *New Forests*, 2012, vol. 43, no. 5—6, pp. 825—848.
7. Alcázar J., Woodard R. P. L. M. Soil Disturbance and the Potential for Erosion After Mechanical Site Preparation. *Northern Journal of Applied Forestry*, 2002, no. 19, pp. 5—13. doi: 10.1093/njaf/19.1.5.

8. Druchinin D. Yu., Gnusov M. A., Pozdnyakov E. V., Popov M. A. Methods of soil preparation for the creation of forest plantation. Improving the efficiency of the forest complex. *Materials of the Seventh All-Russian National Scientific and Practical Conference with international participation*. Petrozavodsk, Publishing houses Petrozavodsk State University, 2021, pp. 58—59. (In Russ.)
9. Kazakov I. V., Prokazin N. E., Rodin S. A., Zinin V. F., Klimov O. G. *Technology and mechanization of forestry works: Textbook*. Moscow, Yurit, 2021. 348 p. (In Russ.)
10. Gorbunov I. V., Zima Yu. V. The causes of forest death in the Baikal region (Trans-Baikal Territory). *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2018, no. 1, pp. 139—143. (In Russ.)
11. Sungurova N. R., Sungurov R. V., Gaevsky N. P. Analysis of artificial reforestation efficiency and suggestions on its improvement. *Scientific notes of Petrozavodsk State University*, 2014, no. 8-1 (145), pp. 71—76. (In Russ.)
12. Yaroshenko A. Is it right to plant and grow a forest after logging. *Lesprominform*, 2022, no. 1 (163), pp. 74—79.
13. Mamontov V. G. *General soil science: Textbook*. Moscow, KnoRus, 2017. 538 p. (In Russ.)
14. Ośrodek Techniki Leśnej. URL: otljarocin.lasy.gov.pl. (accessed: 29.09.2023). Text. Image: electronic.
15. Lysych M. N. Investigation of the soil tillage process with a disc cultivator using the method of discrete elements. *Modern high-tech technologies*, 2020, no. 3, pp. 59—64 (In Russ.)
16. Kazakov V. I., Prokhorov L. N. On the concept of development of mechanization of forestry and forestry engineering. *Bulletin of the Central Chernozem Regional Department of Forest Sciences of the Voronezh State Forestry Academy*, 2002, pp. 244—246.